Commission géologique
du Canada

Recherches en cours
2001-D8

Résultats initiaux de la caractérisation hydrogéochimique des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec

É. Bourque, V. Cloutier, R. Lefebvre, M.M. Savard,

M. Nastev et R. Martel

2001

Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Canada

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2001
N° de catalogue M44-2001/D8F
ISBN 0-660-96481-3

En vente à partir du site Web de la Librairie de la Commission géologique du Canada, à l'adresse http://www.rncan.gc.ca/cgc/bookstore (sans frais : 1-888-252-4301)

Les bibliothèques de dépôt d'un bout à l'autre du pays ont accès à la présente publication par l'intermédiaire du site Web du Programme des services de dépôt (http://dsp-psd.tpsgc.gc.ca).

Prix sujet à changement sans préavis

Les demandes de permission pour reproduire cet article, en tout ou en partie, à des fins d'utilisation commerciale, de revente ou de redistribution doivent être adressées à la Division de l'information du Secteur des sciences de la Terre, pièce 200, 601, rue Booth, Ottawa (Ontario) K1A 0E8.

Addresses des auteurs

É. Bourque *(ebourque@nrcan.gc.ca)*
M.M. Savard *(msavard@nrcan.gc.ca)*
M. Nastev *(mnastev@nrcan.gc.ca)*
CGC Québec, Québec
880, chemin Sainte-Foy, C.P. 7500,
Sainte-Foy, Québec G1V 4C7

V. Cloutier *(vcloutie@nrcan.gc.ca)*
R. Lefebvre *(ess-inrs-rlefebvre@x1.nrcan.gc.ca)*
R. Martel *(ess-inrs-rmartel@x1.nrcan.gc.ca)*
INRS-Géoressources,
Quebec Geoscience Centre
880, chemin Sainte-Foy, C.P. 7500,
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

101-03632/

Résultats initiaux de la caractérisation hydrogéochimique des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec

É. Bourque, V. Cloutier, R. Lefebvre, M.M. Savard, M. Nastev et R. Martel

CGC Québec, Québec

Bourque, É., Cloutier, V., Lefebvre, R., Savard, M.M., Nastev, M. et Martel, R., 2001 : Résultats initiaux de la caractérisation hydrogéochimique des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec; Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2001-D8, 9 p.

Résumé : La caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines des municipalités régionales des comtés d'Argenteuil, de Mirabel, de Deux-Montagnes et de Thérèse-de-Blainville est en cours dans le cadre du projet de cartographie hydrogéologique régionale des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec. Le volet hydrogéochimique vise à évaluer la qualité régionale de l'eau souterraine et à reconnaître les processus géochimiques qui contrôlent cette qualité. Trois campagnes d'échantillonnage ont été menées, soit au printemps 1999, à l'été 1999 et à l'été 2000. Les résultats préliminaires des mesures des paramètres physico-chimiques et des analyses inorganiques et isotopiques (isotope stable $\delta^{18}O$) des échantillons d'eau souterraine révèlent des variations significatives dans la composition géochimique des eaux souterraines. Cette variation semble être contrôlée en partie par la lithologie du substratum rocheux et par les contextes hydrogéologiques. De plus, les précipitations ont été analysées pour les isotopes stables ($\delta^{2}H$ et $\delta^{18}O$) afin d'établir la droite locale des eaux météoriques pour la région. Cela devrait aider à comprendre l'origine de l'eau souterraine.

Abstract: The characterization of groundwater hydrogeochemistry of the regional county municipalities of Argenteuil, Mirabel, Deux-Montagnes, and Thérèse-de Blainville is underway as part of a regional hydrogeological mapping project of the fractured aquifers of southwestern Quebec. The goal of the hydrogeochemistry component is to evaluate regional groundwater quality and identify geochemical processes controlling this quality. Three sampling campaigns were conducted, one in spring 1999, one in summer 1999, and another in summer 2000. Preliminary results of the measurement of physico-chemical parameters and the analysis of groundwater samples for inorganic and isotopic (stable isotope $\delta^{18}O$) concentrations reveal significant variations in groundwater geochemistry. These variations seem to be controlled in part by geological units and by hydrogeological context. Moreover, precipitation was analyzed for stable isotopes to establish the local meteoric waterline for the area. This will help understand the origin of groundwater.

INTRODUCTION

La présente étude s'inscrit dans le cadre d'un projet pilote de la Commission géologique du Canada sur l'hydrogéologie des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec dans les municipalités régionales des comtés (MRC) d'Argenteuil, de Mirabel, de Deux-Montagnes et de Thérèse-de-Blainville (fig. 1). Ce projet est réalisé en collaboration avec INRS-Géoressources, l'Université Laval, Environnement Canada, le United States Geological Survey et l'Université Queens. Son objet est de mieux connaître les eaux souterraines et le potentiel aquifère dans le secteur à l'étude, afin d'assurer l'exploitation durable de la ressource selon des mesures adéquates de gestion et de protection (Savard et al., 2000). L'étude vise également à élaborer une méthodologie permettant de caractériser, à l'échelle régionale, les aquifères des roches sédimentaires fracturées (Nastev et al., 2000, 2001).

Le volet portant sur la caractérisation hydrogéochimique (Cloutier et al., 2000) vise à évaluer la qualité de l'eau souterraine dans diverses unités hydrogéologiques et dans divers contextes du système d'écoulement régional, des zones de recharge jusqu'aux zones d'émergence, en mesurant les concentrations naturelles d'éléments chimiques contenus dans l'eau souterraine. Les paramètres inorganiques analysés sont les ions majeurs (cations et anions), les principaux nutriments (p. ex. nitrates, phosphates) et les métaux en traces (tableau 1). Ces éléments ou composés sont d'abord dosés afin de vérifier le respect de critères de qualité de l'eau. Ils servent également à l'identification des sources de contamination anthropiques et à la modélisation géochimique en vue de reconnaître les processus (p. ex. interaction eau–unités géologiques) qui déterminent la qualité de l'eau souterraine.

L'étude de la qualité de l'eau est complétée par des analyses isotopiques qui servent d'outils de caractérisation additionnels permettant de reconnaître les zones de recharge et d'émergence et les modèles d'écoulement, de délimiter les aquifères et de reconnaître la présence de liens hydrauliques entre les formations aquifères.

On a également réalisé l'échantillonnage multiniveau de plusieurs puits profonds en vue d'étudier les variations de la qualité de l'eau (p. ex. salinité) en fonction de la profondeur.

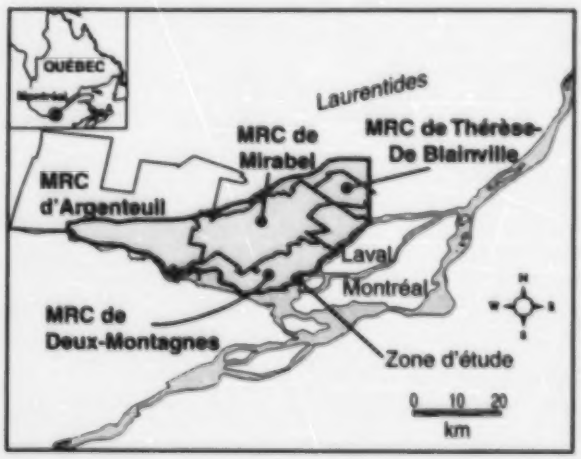

Figure 1. *Localisation de la zone d'étude à l'intérieur des quatre municipalités régionales de comté (MRC).*

Tableau 1. Résultats des analyses inorganiques.

Paramètres	Unités	M.A.[1]	Moy[2]	É-T[3]	Critère [4]	N. D. [5]
Terrain						
Température	°C	a	9,5	0,9		
pH		a	7,7	0,3	6,5 à 8,5 (b)	5
C.E. [6]	µS/cm	a	865,6	605,7		
O.D. [7]	mg/L	a	2,9	2,5		
Eh	mV	a	-40	94		
Laboratoire						
Couleur	UCV	c	8,8	17,5	< 15 (b)	
Alcalinité totale	mg/L $CaCO_3$	g	252,7	97,5	30 à 500 (b)	
CID [8]	mg/L	c	62,6	23,2		
COD [9]	mg/L	c	2,3	2,7		
Na	mg/L	b	91,2	115,0	< 200 (b)	8
K	mg/L	b	7,7	6,5		
Mg	mg/L	b	24,4	13,1		
Ca	mg/L	b	52,9	63,0		
Sr	mg/L	b	2,0	4,7		
Mn	mg/L	b	0,062	0,118	< 0,05 (b)	11
Fe	mg/L	b	0,64	2,07	< 0,3 (b)	14
NH_4	mg/L	c	0,267	0,373		
Li	mg/L	b	0,016	0,02		
Ba	mg/L	b	0,166	0,177	1,0 (a)	1
F	mg/L	c	0,505	0,535	1,5 (a)	4
Cl	mg/L	g	97,4	163,0	< 250 (b)	7
Br	mg/L	f	0,263	0,568		
I	mg/L	f	0,103	0,017		
SO_4	mg/L	c	65,5	161,1	< 500 (b)	2
NO_3	mg/L	c	0,583	1,867	10,0 (a)	1
P total	mg/L	c	0,178	0,453		
SiO_2	mg/L	b	13,33	3,335		
B	mg/L	b	0,163	0,205	5 (a)	
H_2S	mg/L	c	0,129	0,491	< 0,05 (b)	12
Zn	mg/L	b	0,007	0,007	< 5,0 (b)	
Cu	mg/L	b	0,003	0,008	< 1,0 (b)	
Ni	mg/L	b	0,001	0,003		
Al	mg/L	b	0,013	0,01		
As	mg/L	d	0,001	0,001	0,025 (a)	
Cd	mg/L	b	0,001	0,001	0,005 (a)	
Ag	mg/L	b	0,0	0,0		
Cr	mg/L	b	0,001	0,0	0,05 (a)	
Hg	mg/L	e	0,0	0,0	0,001 (a)	
Pb	mg/L	b	0,004	0,0	0,01 (a)	
Se	mg/L	d	0,001	0,0	0,01 (a)	
CN	mg/L	c	0,003	0,001	0,2 (a)	
U	mg/L	b	0,006	0,002	0,1 (a)	
Calculé						
HCO_3	mg/L		298,6	119,9		
Dureté totale	mg/L $CaCO_3$		232,2	194,5		
MDT [10]	mg/L		480,3	362,4	< 500 (b)	20

[1] : méthode d'analyse
a: sonde
b: ICP-SEOP
c: colorimétrie
d: génération d'hydrure
e: vapeur froide
f: chromatographie ionique
g: conductivité
[2] : Moyenne
[3] : Écart-type
[4] : Critère de qualité (Santé Canada, 1996)
a: concentration maximale acceptable
b: objectif esthétique
[5] : Nombre de dépassements du critère de qualité
[6] : Conductivité électrique à 25°C
[7] : Oxygène dissous
[8] : Carbone inorganique dissous
[9] : Carbone organique dissous
[10] : Matières dissoutes totales

Les sections échantillonnées ont été isolées à différentes profondeurs à l'aide d'obturateurs. Les résultats ne sont toutefois pas encore disponibles.

Nous présentons ici les résultats préliminaires des mesures physico-chimiques et des analyses inorganiques et isotopiques (isotope stable $\delta^{18}O$) de trois campagnes d'échantillonnage (composite) de l'eau souterraine entreprises au printemps et à l'été de 1999, puis à l'été de 2000, ainsi que des résultats de l'analyse isotopique (isotopes stables $\delta^{2}H$ et $\delta^{18}O$) des précipitations (automne 1999) et de neige (hiver 2000).

CONTEXTES GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE DE LA RÉGION À L'ÉTUDE

La région à l'étude est située sur la rive nord du Saint-Laurent, au nord-ouest de l'île Laval et au sud de la rivière du Nord (fig. 1). Ce secteur occupe la région physiographique de la vallée du Saint-Laurent, qui est caractérisée par un relief plat à onduleux.

Le secteur comporte une couverture de sédiments marins et continentaux quaternaires (Bolduc et Ross, 2001; Ross et al., 2001) qui repose en discordance sur le substratum rocheux. Ce dernier est constitué de roches sédimentaires (grès, dolomie, calcaire et argilite) paléozoïques de la province géologique des basses terres du Saint-Laurent, qui recouvrent en discordance les roches ignées et métamorphiques précambriennes de la province géologique de Grenville (fig. 2, 3). Ces roches affleurent au-delà de la limite nord de la région d'étude ainsi qu'au sud, sous la forme de collines à Oka et à Saint-André.

De la rivière des Outaouais jusqu'à la bordure des Laurentides, la couverture de dépôts quaternaires est relativement épaisse (~ 40 m) et comporte principalement des argiles marines de la Mer de Champlain. Ces importantes accumulations de dépôts quaternaires coïncident avec les principales vallées enfouies de la région. Les formations aquifères sous-jacentes sont captives (fig. 4). La stratigraphie de la région est décrite par Savard et al. (2000). On retrouve ces conditions de nappes captives dans la région de Saint-Benoît avec la particularité que l'eau y est saline. D'autres secteurs à eau saline ont été reconnus mais ne sont pas indiqués à la figure 4. La présence d'eau saline avait déjà

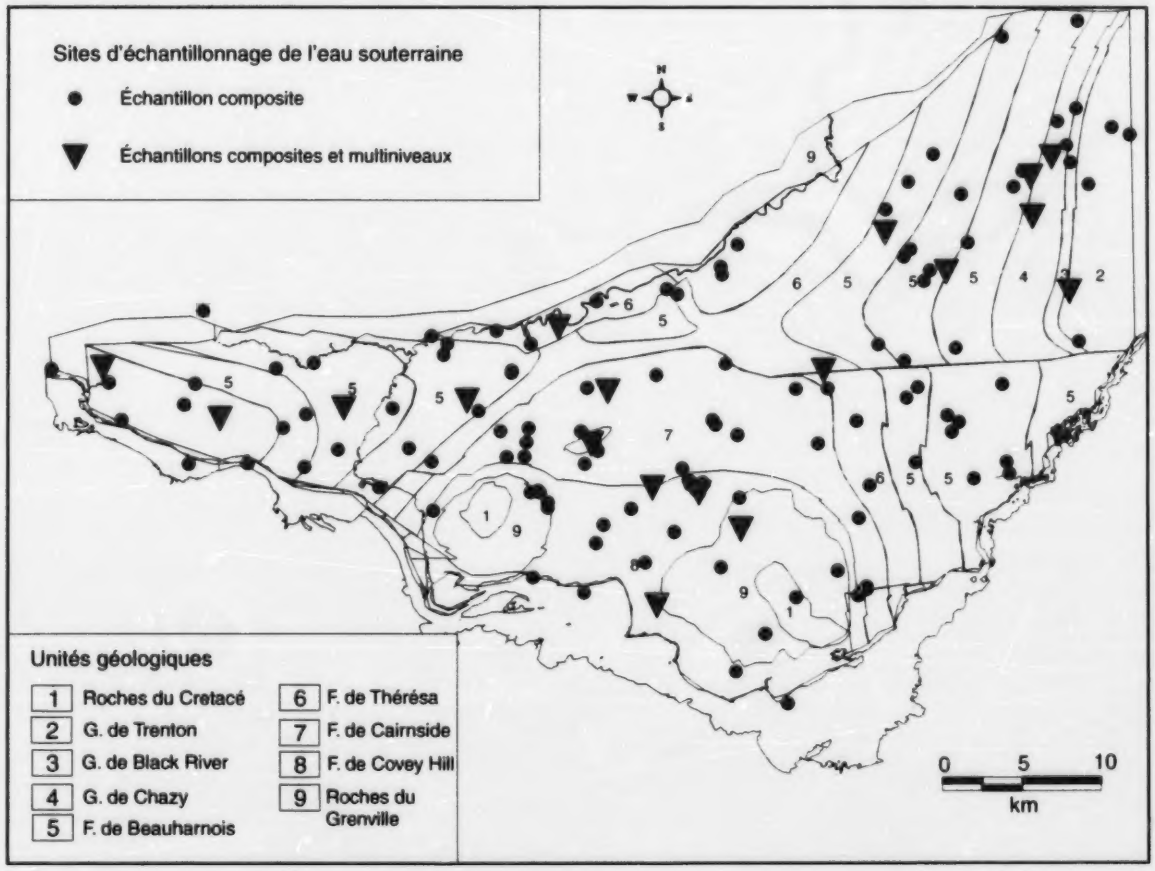

Figure 2. Localisation des sites d'échantillonnage de l'eau souterraine.

été reconnue par d'autres chercheurs (Simard, 1978; AGÉOS et INRS-Eau, données inédites, 1998). Les collines d'Oka et de Saint-André ainsi que les secteurs topographiques plus élevés de la région ont des épaisseurs de sédiments souvent inférieures à 5 m; le substratum rocheux y affleure parfois. Les secteurs qui représentent des zones préférentielles de recharge pour l'écoulement local et/ou régional ont été déterminés à partir de la topographie, de l'épaisseur des sédiments, de la piézométrie (Fagnan et al., 2001) et de la présence de substratum rocheux affleurant et sous-affleurant. À l'aide d'une carte piézométrique (Fagnan et al., 2001) fondée sur les niveaux d'eau mesurés dans environ 600 puits, on a réussi à déterminer les directions d'écoulement indiquées par des flèches à la figure 4. L'écoulement régional se fait principalement du nord vers le sud. La topographie de la surface du sol et du substratum rocheux sous les dépôts meubles contrôle les systèmes d'écoulement locaux.

MÉTHODOLOGIE

Échantillonnage régional des eaux souterraines

Pour caractériser l'hydrogéochimie du système aquifère de roches fracturées, il faut déterminer les caractéristiques géochimiques des unités hydrogéologiques le long des lignes d'écoulement, depuis les zones de recharge jusqu'aux zones d'émergence. Les sites ont donc été choisis de façon à assurer la caractérisation des principales unités hydrogéologiques et des sources d'approvisionnement existantes. Au total, 145 puits ont été échantillonnés (tableau 2). Les puits échantillonnés exploitent des formations rocheuses (121), des formations de dépôts meubles (17) et parfois même les deux à la fois (2). L'échantillonnage de puits de particuliers, de puits municipaux et de puits d'observation a été réalisé en mars 1999, puis de juillet à octobre 1999 et de juin à août

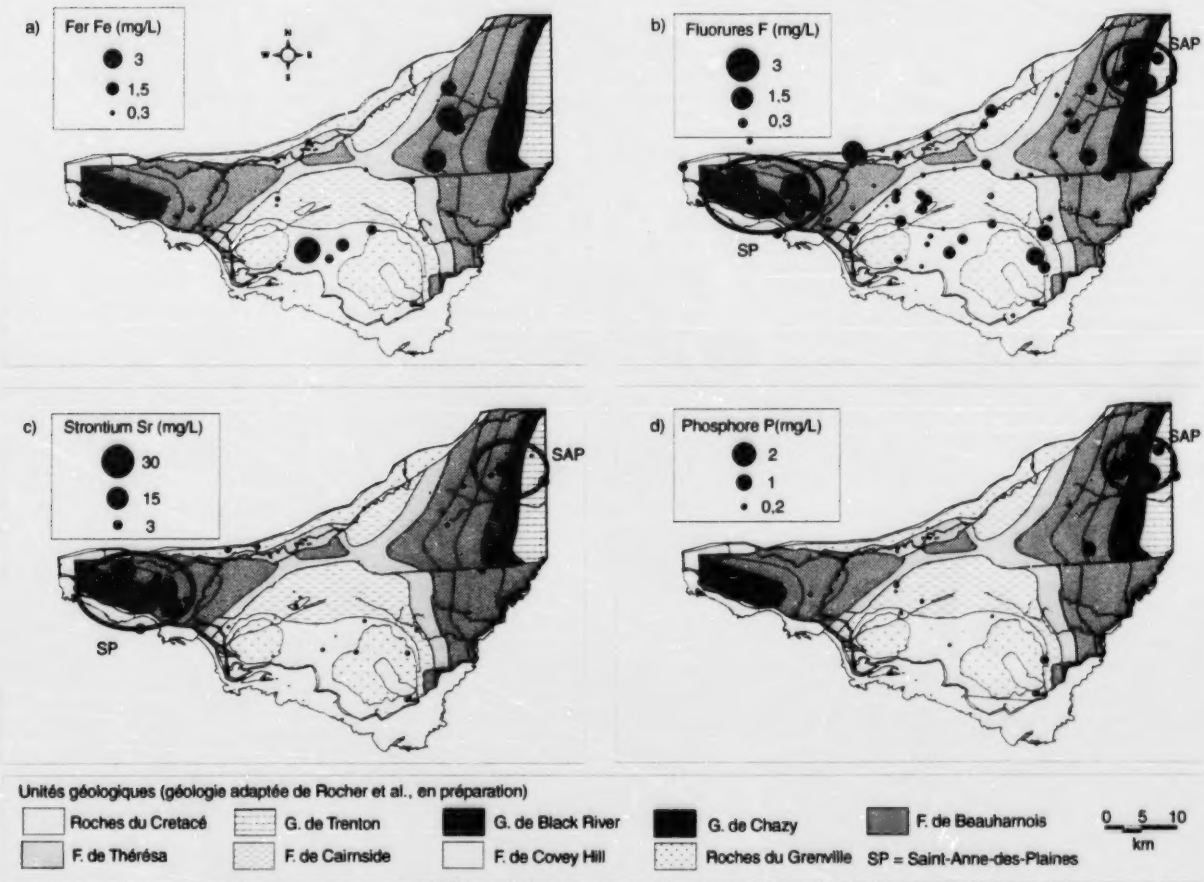

Figure 3. *Distribution régionale de certains éléments chimiques retrouvés dans l'eau souterraine (données sur la géologie tirées de Lavoie et al., 2000) : **a**) fer, **b**) fluorures, **c**) strontium et **d**) phosphore (échantillons de 1999). SAP = Sainte-Anne-des-Plaines; SP = Saint-Philippe.*

2000. Les résultats préliminaires de l'analyse de 69 échantillons d'eau souterraine sont présentés. L'échantillonnage multiniveau de 18 puits profonds a aussi été réalisé et 78 échantillons ont été prélevés afin d'étudier les variations de la qualité de l'eau en fonction de la profondeur (p. ex. salinité). Les sections échantillonnées ont été isolées à différentes profondeurs à l'aide d'obturateurs.

Les paramètres dosés et les techniques analytiques utilisées sont présentés au tableau 1. Des analyses microbiologiques ont également été effectuées sur les coliformes totaux et les coliformes fécaux. Toutes ces analyses ont été faites dans les laboratoires du ministère de l'Environnement du Québec. Les recommandations du guide d'échantillonnage du ministère de l'Environnement et de la Faune (1994) ont été suivies. Certaines mesures ont été effectuées sur place afin de pouvoir déterminer quantitativement des paramètres qui évoluent après l'échantillonnage, soit la température, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous mesurés au moyen de sondes multiparamétriques YSI (étalonnées quotidiennement), et le potentiel d'oxydo-réduction, mesuré au moyen d'une sonde redox ORP de Hanna. Les puits ont d'abord été purgés jusqu'à ce que les mesures de ces paramètres soient stables.

Tableau 2. Provenance des échantillons d'eau souterraine (1999–2000).

Formation géologique	Nombre de puits	
	Échantillonnage composite	Échantillonnage multiniveau
Trenton	5	1
Black River	2	
Chazy	12	3
Beauharnois	42	6
Thérèsa	11	2
Cairnside	25	3
Covey Hill	14	2
Roches du Grenville	10	1
Sédiments de surface	5	
Sédiments enfouis sous l'argile	12	
Mixte (roc + sédiments)	2	
À déterminer	5	
Total	145	18

Figure 4. *Contextes hydrogéologiques et directions d'écoulement des eaux souterraines. BN = Saint-Benoît.*

Les échantillons destinés à l'analyse des métaux ont été acidifiés afin d'éviter la précipitation ou l'adsorption des métaux sur les parois des contenants et de minimiser la prolifération de bactéries ainsi que certaines réactions d'oxydation. Ces échantillons ont également été filtrés, afin de pouvoir mesurer les teneurs en matières dissoutes (fraction < 0,45 µm) et non la contribution des particules en suspension. L'utilisation de divers agents de conservation a également été nécessaire pour l'analyse de paramètres supplémentaires (Ministère de l'Environnement et de la Faune, 1994). Les échantillons ont été conservés à 4 °C et à l'obscurité jusqu'à leur analyse. Afin d'assurer la qualité des analyses, l'équilibre chimique a été calculé. Les échantillons pour lesquels l'erreur était supérieure à 10 p. 100 ont été éliminés. De plus, des doubles ont été prélevés pour environ 10 p. 100 des échantillons.

Caractérisation isotopique de la pluie, de la neige et de l'eau d'infiltration

Les rapports isotopiques δ^2H et $\delta^{18}O$ de l'eau et des précipitations (pluie et neige) sont caractérisés de façon à différencier les sources potentielles d'eau souterraine, notamment l'eau de mer, l'eau de fonte glaciaire, l'eau de formation et l'eau des précipitations. Un réseau de 10 stations de mesure a été établi afin d'évaluer la variation spatiale et saisonnière de la composition isotopique des précipitations (fig. 5). Des pluviomètres ont été installés et des échantillons composites de neige prélevés à chacune de ces stations. Les pluviomètres ont été échantillonnés à la fin de chaque mois et de l'huile de silicone a été utilisée pour prévenir l'évaporation. Trois lysimètres à succion ont été installés pour évaluer l'infiltration de l'eau dans la zone vadose. Les lysimètres sont échantillonnés en même temps que les pluviomètres.

Les isotopes stables ont été analysés au Laboratoire Delta de la CGC à Québec. Le gaz H_2 a été extrait des échantillons de pluie en utilisant la méthode de réduction du zinc (Coleman et al., 1982), et un spectromètre de masse à rapport isotopique (Micromass Prism III) a été utilisé pour analyser les rapports δ^2H. L'oxygène de 1 mL d'échantillon d'eau a été équilibré avec du CO_2 commercial à une température contrôlée en utilisant un système «autowater en continu sur un spectromètre de masse à rapport isotopique». Par la suite, le $\delta^{18}O$ eau a été analysé sur le CO_2 équilibré au moyen du spectromètre de masse à rapport isotopique VG SIRA 12. Les résultats des analyses isotopiques sont reportés avec la notation standard δ en déviations pour mille (‰) par rapport à l'étalon international V-SMOW. La précision analytique est de ±0,2 ‰ pour $\delta^{18}O$ et de ±2 ‰ pour δ^2H.

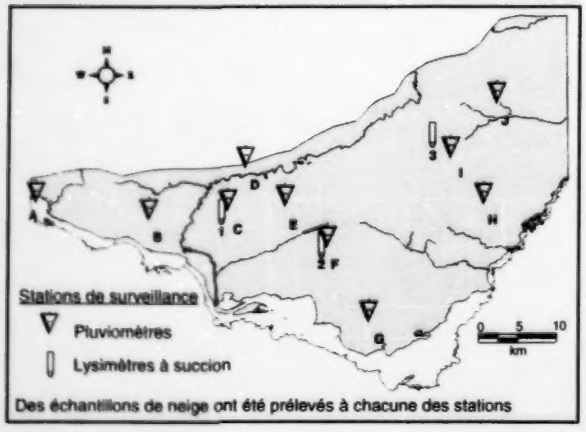

Figure 5. *Localisation des stations de surveillance : pluviomètres, échantillonnage de la neige et lysimètres à succion.*

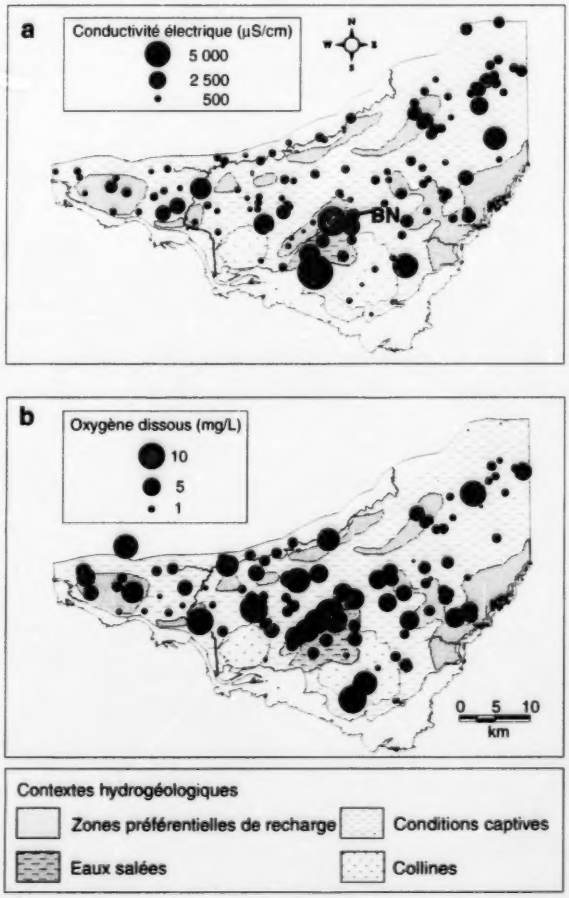

Figure 6. *Distribution régionale des conditions géochimiques de l'eau souterraine; **a)** conductivité électrique à 25 C; **b)** oxygène dissous (échantillons de 1999 et 2000). BN = Saint-Benoît.*

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Géochimie régionale

Les figures 3, 6 et 7 présentent la distribution des paramètres géochimiques. Des cartes de contextes hydrogéologiques et géologiques ont été utilisées comme fond de carte. Aux figures 3 et 7, la carte des formations géologiques semble pertinente pour expliquer la variation des concentrations des paramètres présentés. Les paramètres conductivité électrique et oxygène dissous sont présentés sur des cartes de contextes hydrogéologiques, car ils varient habituellement à partir des zones de recharge jusqu'aux zones d'émergence (fig. 6).

À la figure 3, les concentrations de fer dépassent les critères de qualité esthétique (0,3 mg/L) de Santé Canada (1996) dans plusieurs puits. Les concentrations de fluorures et de strontium sont beaucoup plus élevées dans les secteurs de Saint-Philippe et de Sainte-Anne-des-Plaines, alors que les concentrations de phosphore sont plus élevées dans la région de Sainte-Anne-des-Plaines.

La conductivité électrique (fig. 6a), corrigée à 25 °C, est plus élevée dans les zones captives que dans les zones préférentielles de recharge; elle est particulièrement élevée dans le secteur de Saint-Benoît. Comme prévu, les concentrations d'oxygène dissous sont plus élevées dans les zones préférentielles de recharge que dans les zones captives (fig. 6).

Les différents types d'eau caractéristiques des formations géologiques sont présentés à l'aide de diagrammes radiaux à la figure 7. Ces diagrammes, réalisés grâce au module informatique DGMEau (M. Boie, données inédites,1998), présentent graphiquement les concentrations d'ions majeurs, en l'occurence Na, Ca, K, Mg, HCO_3, Cl, SO_4 et NO_3. La grosseur des cercles est proportionnelle à la racine carrée de la concentration de matières dissoutes totales calculée à partir des résultats des analyses chimiques. On peut ainsi différencier les eaux selon l'importance de leur minéralisation. Les types d'eau ont été déterminés après avoir converti en pourcentage (Waterloo Hydrogeologic Inc., 1999) des concentrations en milliéquivalents/litre des ions analysés dans l'eau

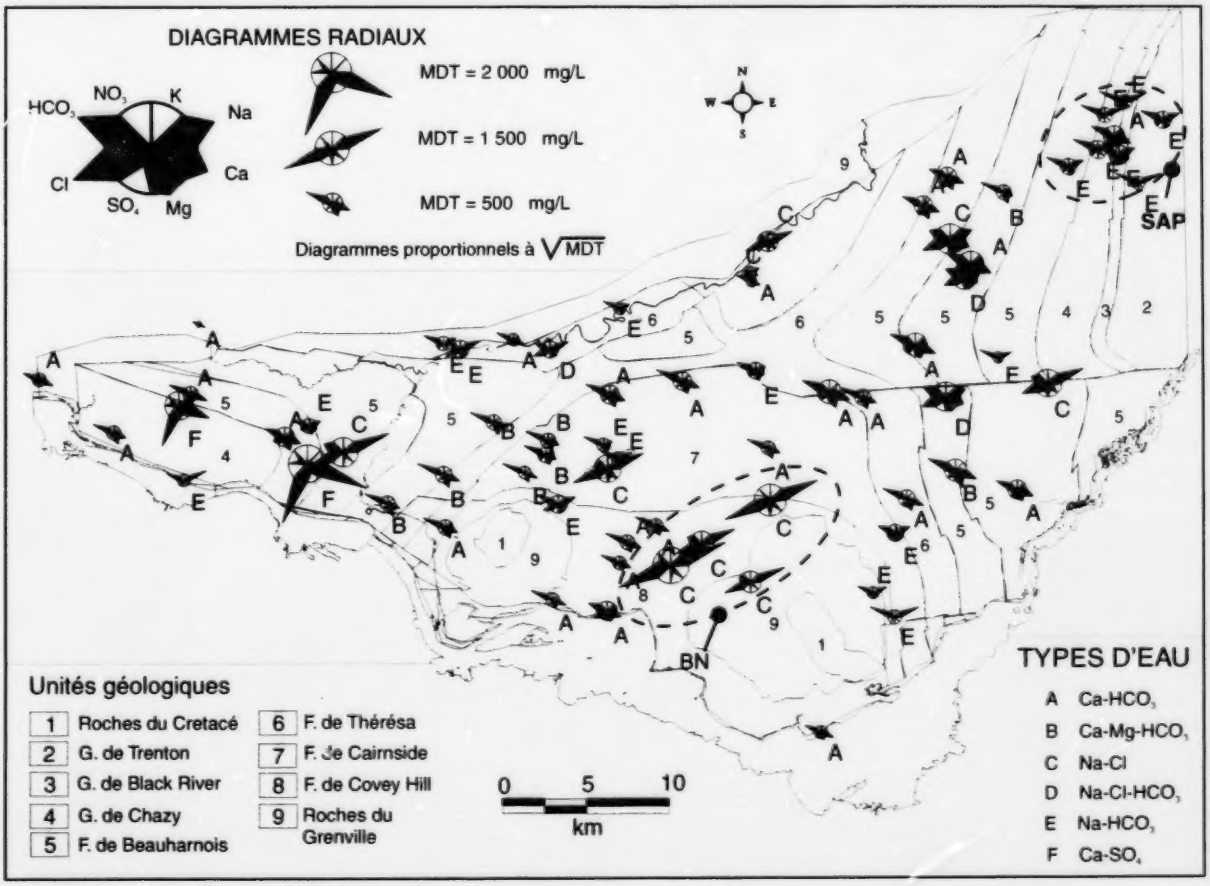

Figure 7. *Représentation de types d'eau à l'aide de diagrammes radiaux (échantillons de 1999). BN = Saint-Benoît; MDT = matières dissoutes totales; SAP = Sainte-Anne-des-Plaines.*

souterraine (tableau 1). Seuls les ions dont la concentration molaire est supérieure à 20 p. 100 ont été retenus afin de limiter le nombre de types d'eau.

Les types d'eau Ca-HCO_3 et Ca-Mg-HCO_3 semblent prédominer dans les zones de recharge (voir fig.) alors que le type Na-Cl se rencontre plutôt aux endroits où l'épaisseur des dépôts d'argile marine semble importante, p. ex. à Saint-Benoît. Cette salinité pourrait provenir d'eaux marines (Mer de Champlain) ou être reliée à une interaction eau-roche. Le type d'eau Na-HCO_3 est caractéristique de la région de Sainte-Anne-des-Plaines. Son origine n'a pas encore été déterminée.

Les résultats disponibles d'analyses chimiques ont été comparés aux critères de qualité de l'eau potable de Santé Canada (1996). Les concentrations mesurées n'ont pas dépassé les critères de qualité de l'eau sauf pour les fluorures (4 échantillons sur 68), le baryum (1 échantillon sur 69) et les nitrates (1 échantillon sur 66). Les critères de qualité d'esthétique pour le fer (14 échantillons sur 66), les sulfures (12 échantillons sur 69), le manganèse (11 échantillons sur 69), le sodium (8 échantillons sur 69), les chlorures (7 échantillons sur 69), le pH (5 échantillons sur 69) et les sulfates (2 échantillons sur 69). Les valeurs moyennes, les écart-types, les critères de qualité et le nombre de dépassements pour chacun de ces paramètres sont présentés au tableau 1.

Isotopes stables

La figure 8 présente la droite des eaux météoriques du sud-ouest du Québec (DEMSOQ) qui a été établie pour les précipitations de septembre à octobre 1999 et pour trois échantillons composites de neige prélevés en mars 2000 (stations D, J et F à la figure 5). La DEMSOQ est au-dessus de la droite météorique d'Ottawa (DEMO; Fritz et al., 1987) et de la droite des eaux météoriques globale (DEMG; Craig, 1961).

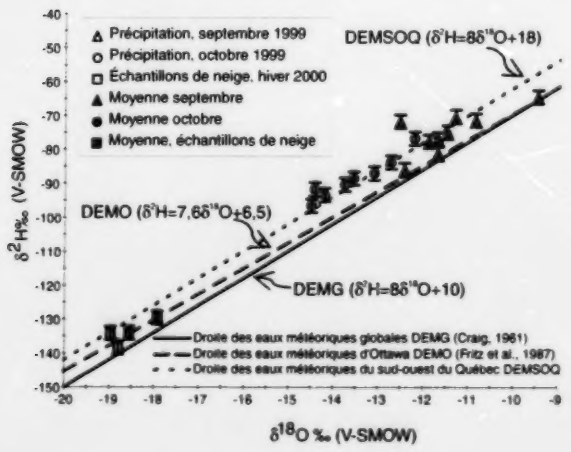

Figure 8. *Droite locale des eaux météoriques de la région d'étude (DEMSOQ).*

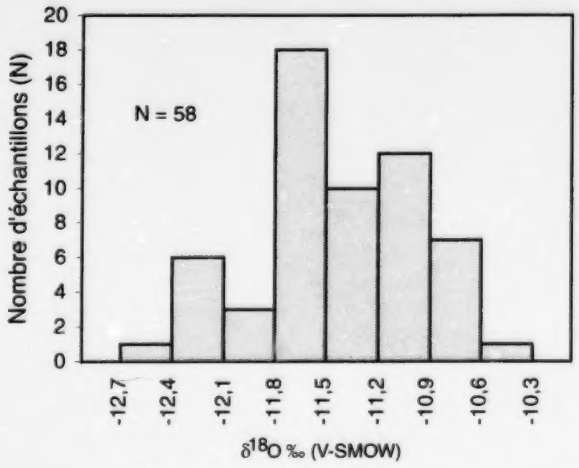

Figure 9. *Distribution de fréquence de $\delta^{18}O$ dans l'eau souterraine.*

Sa position relative est attribuable à des conditions climatiques telles que l'humidité lors de l'évaporation océanique (Atlantique tropical), qui contrôle l'excédant de ^{2}H, et le mélange des masses d'air de l'est du Canada (Vitali et al., 1999). Les résultats des analyses isotopiques de 2000 devraient mieux définir la DEMSOQ, aider à comprendre les variations à l'intérieur de la région à l'étude et servir de courbe de comparaison pour les données sur l'eau souterraine.

À l'échelle régionale, les rapports isotopiques de l'oxygène de l'eau souterraine de puits varie de -12.6 ‰ à -10.5 ‰; 81 p. 100 des échantillons ont des rapports isotopiques entre -11.8 ‰ et -10.6 ‰ (fig. 9). Les chiffres obtenus pour les 58 échantillons d'eau souterraine tombent dans l'intervalle des rapports $\delta^{18}O$ obtenus pour la pluie (fig. 8), ce qui démontre l'existence des liens prévus entre les précipitations locales et les eaux souterraines. L'intégration de ces résultats et des rapports $\delta^{2}H$ et $^{87}Sr/^{86}Sr$ de l'eau souterraine (travaux en cours) permettra d'évaluer l'influence de l'interaction eau–roche et du mélange d'autres types d'eau sur les attributs géochimiques des eaux souterraines du sud-ouest du Québec.

CONCLUSIONS

La qualité de l'eau souterraine peut être qualifiée de très bonne sur l'ensemble du territoire, car à l'exception de 6 échantillons sur 69, elle répond toujours aux critères de qualité établis pour assurer la protection de la santé des consommateurs (Santé Canada, 1996). Toutefois, les concentrations élevées de certains éléments, dont le fer, les sulfures, le manganèse, le sodium, les chlorures et les sulfates, constituent une nuisance visuelle et peuvent rendre nécessaire le traitement de l'eau. Un problème de salinité de l'eau a été reconnu dans le secteur de Saint-Benoît en particulier.

Les représentations cartographiques de différents paramètres géochimiques montrent que la qualité naturelle (conductivité, présence de fer, de strontium, etc.) des eaux souterraines varie en fonction des contextes géologiques et hydrogéologiques. Les processus géochimiques à l'origine de ces particularités sont à l'étude.

Les résultats de l'analyse des isotopes stables dans les précipitations et la neige ont permis de déterminer la droite locale des eaux météoriques du sud-ouest du Québec, point de comparaison essentiel pour l'étude isotopique des eaux souterraines. Il s'agit d'une droite de pente 8, donc parallèle à la courbe de Craig (1961), et d'ordonnée à l'origine de 18, son excédant en ^{2}H étant de 18. Les résultats préliminaires de l'analyse de $\delta^{18}O$ de l'eau souterraine montrent que les échantillons tombent dans l'intervalle des rapports $\delta^{18}O$ obtenus pour les précipitations régionales.

L'intégration des résultats de l'échantillonnage multi-niveau et de l'élaboration de modèles d'écoulement et de modèles géochimiques améliorera notre compréhension des facteurs qui contrôlent les processus à l'origine de la composition géochimique de l'eau souterraine dans le secteur à l'étude.

REMERCIEMENTS

Le financement de ce projet est assuré par la Commission géologique du Canada, Développement économique Canada, le Conseil de développement des Laurentides, le ministère de l'Environnement du Québec, les MRC d'Argenteuil, de Mirabel, de Deux-Montagnes et de Thérèse-de-Blainville et l'Association des professionnels de développement économique des Laurentides. Les auteurs aimeraient remercier Marc Luzincourt du Laboratoire Delta et John Voralek d'Environnement Canada pour leur aide technique, Alfonso Rivera pour ses commentaires sur le manuscrit, et la population et les intervenants municipaux concernés pour leur collaboration et leur intérêt. Enfin, nous remercions sincèrement Jean-Luc Riopel, Marc Carrière, Carole Hart et Guy Renault pour leur appui constant.

RÉFÉRENCES

Bolduc, A.M. Et Ross, M.
2001 : Géologie des Formations superficielles, Lachute-Oka; Commission géologique du Canada, Dossier public 3520, échelle de 1/50 000.

Cloutier, V., Bourque, É., Lefebvre, R., Savard, M.M., Nastev, M. et Martel, R.
2000 : Regional hydrogeochemical characterization of groundwater in fractured aquifers of the St. Lawrence Lowlands; *in* Proceedings, First Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Specialty Conference, Montréal, Quebec, p. 3–10.

Coleman, M.L., Shepherd, T.J., Durham, J.J., Rouse, J.E. et Moore, G.R.
1982 : Reduction of water with zinc for hydrogen isotope analysis; Analytical Chemistry, v. 54, no. 6, p. 993–995.

Craig, H.
1961 : Isotopic variations in meteoric waters; Science, v. 133, p. 1702–1703.

Fagnan, N., Nastev, M., Lefebvre, R., Martel, R. et Savard, M.
2001 : Résultats initiaux d'une partie des travaux de caractérisation hydrogéologique des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec; Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2001, D-7.

Fritz, P., Drimmie, R.J., Frape, S.K. et O'Shea, K.J.
1987 : The isotopic composition of precipitation and groundwater in Canada; *in* Isotope Techniques in Water Resources Development, IAEA Symposium 299, March 1987, Vienna, p. 539–550.

Lavoid, D., Bolduc, A., Castonguay, S., Malo, M., Ross, M., Salad Hersi, O., Séjourné, S., Tremblay, A., Lauzière, K. Et MacIntosh, A.
2000 : Excursion géologique CARTNAT 2000; Centre géoscientifique de Québec, Québec.

Ministère de l'Environnement et de la Faune
1994 : Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales, Cahier 3, Échantillonnage des eaux souterraines; ministère de l'Environnement et de la Faune, Québec, 101 p.

Nastev, M., Lapcevic, P, Voralek, J., Girard, F., Etienne, M. et Savard, M.M.
2000 : Hydraulic characterization of fractured aquifers of St.Lawrence lowlands in southwestern Quebec; in Proceedings, First Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Specialty Conference, Montréal, Quebec, p. 33–40.

Nastev, M., Savard, M.M., Lefebvre, R., Martel, R., Fagnan, N., Bourque, E., Hamel, A. et Karanta, G.
2001 : Regional hydrogeological mapping project of the St. Lawrence Lowlands of southwestern Quebec: hydrogeological characterization work 1999–2000; Geological Survey of Canada, Current Research 2001, D-9.

Ross, M., Parent, M., Bolduc, A.M., Hunter, J. et Benjumea, B.
2001 : Étude préliminaire des formations quaternaires comblant les vallées des basses Laurentides, nord-ouest de Montréal, Québec; Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2001, D-5.

Santé Canada
1996 : Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada (sixième édition), 102 p.

Savard, M.M., Nastev, M., Lefebvre, R., Martel, R., Fagnan, N., Bourque, É., Cloutier, V., Lauzière, K., Gélinas, P., Kirkwood, D., Lapcevic, P., Karanta, G., Hamel, A., Bolduc, A., Ross, M., Parent, M., Lemieux, J.-M., Boisvert, E., Salad Hersi, O., Lavoie, D. Girard, F. Novakowski, K., Therrien, R., Etienne, M. et Fortier, R.
2000 : Regional hydrogeology of fractured rock aquifers of southwestern Quebec (St. Lawrence Lowlands); *in* Proceedings, First Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Specialty Conference, Montréal, Quebec, p. 247–254.

Simard, G.
1978 : Hydrogéologie de la région de Mirabel; ministère des Richesses naturelles du Québec, Service des eaux souterraines, 69 p.

Vitali, F., Savard, M.M., Bourque, É. et Michaud, Y.
1999 : Environment isotope geochemistry of Laurentian piedmont groundwater, Quebec; *in* Current Research 1999-E; Geological Survey of Canada, p. 139–148.

Waterloo Hydrogeologic Inc.
1999 : AquaChem v.3.7, Aqueous geochemical data analysis, plotting and modeling, User's Manual; Waterloo Hydrogeologic Inc., 184 p.

Projet 980011 de la Commission géologique du Canada